

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

**BÁO CÁO SINH HOẠT HỌC THUẬT**

**XÁC ĐỊNH SỨC CHỐNG CẮT KHÔNG THOÁT  
NƯỚC CỦA ĐẤT BẰNG THÍ NGHIỆM HIỆN  
TRƯỜNG VÀ MỘT SỐ KẾT QUẢ THỰC TẾ**

**Cán bộ thực hiện: TS. Nguyễn Văn Phóng**

**Đơn vị: Bộ môn ĐKT – Khoa KH& KT Địa chất**

**Hà Nội, năm 2025**

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

**BÁO CÁO SINH HOẠT HỌC THUẬT**

**XÁC ĐỊNH SỨC CHỐNG CẮT KHÔNG THOÁT  
NƯỚC CỦA ĐẤT BẰNG THÍ NGHIỆM HIỆN  
TRƯỜNG VÀ MỘT SỐ KẾT QUẢ THỰC TẾ**

**Thực hiện**

**Bộ môn Địa chất công trình**

**TS. Nguyễn Văn Phóng**

**TS. Bùi Trường Sơn**

**Hà Nội, năm 2025**

---

---

## MỤC LỤC

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 1. MỞ ĐẦU .....                                  | 4  |
| 2. CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH $S_u$ .....          | 5  |
| 2.1. Sức chống cắt không thoát nước.....         | 5  |
| 2.2. Các phương pháp xác định $S_u$ .....        | 5  |
| 3. ĐÁNH GIÁ CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH $S_u$ ..... | 15 |
| 3.1. Cơ sở đánh giá .....                        | 15 |
| 3.2. Kết quả nghiên cứu thực tế.....             | 16 |
| KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ .....                      | 24 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO .....                         | 25 |

## 1. MỞ ĐẦU

Khi tiến hành khảo sát địa chất công trình, việc xác định chính xác sức chống cắt không thoát nước ( $S_u$ ) của đất yếu là một yêu cầu cấp thiết nhằm đảm bảo an toàn cho công trình và tối ưu chi phí trong thiết kế nền móng, đặc biệt ở các khu vực có điều kiện địa chất phức tạp như vùng ven biển, đầm lầy, hoặc khu vực có tầng đất sét mềm dày. Độ chính xác trong xác định chỉ tiêu này phụ thuộc lớn vào phương pháp thí nghiệm được sử dụng.

Hiện nay, các phương pháp thí nghiệm nhằm xác định sức kháng cắt của đất có thể chia thành hai nhóm chính: thí nghiệm trong phòng và thí nghiệm hiện trường. Mỗi nhóm đều có những ưu điểm và hạn chế nhất định. Thí nghiệm trong phòng thường có chi phí thấp, dễ triển khai, cho phép thực hiện nhiều chỉ tiêu trên cùng một mẫu và phù hợp với các phân tích thống kê. Tuy nhiên, quá trình lấy mẫu nguyên trạng trong đất yếu thường gặp nhiều khó khăn, mẫu dễ bị xáo trộn và điều kiện thí nghiệm trong phòng có thể sai khác đáng kể so với điều kiện thực tế, làm giảm độ tin cậy của kết quả.

Ngược lại, các phương pháp thí nghiệm hiện trường, mặc dù đòi hỏi thiết bị chuyên dụng nhưng có ưu điểm là phản ánh đúng điều kiện làm việc tự nhiên của đất, từ đó cung cấp kết quả sát thực tế hơn. Do vậy, trong nhiều trường hợp, việc kết hợp cả hai nhóm thí nghiệm được xem là hướng tiếp cận tối ưu để nâng cao độ chính xác và tin cậy của các chỉ tiêu cơ lý đất, trong đó có  $S_u$ . Điều này giúp nhằm đánh giá, hiệu chỉnh tương quan giữa kết quả của các thí nghiệm hiện trường và thí nghiệm trong phòng, nhằm tận dụng ưu điểm, khắc phục hạn chế của mỗi phương pháp, đảm bảo độ tin cậy.

Tại Việt Nam, các phương pháp thí nghiệm thường dùng để xác định trực tiếp  $S_u$  bao gồm thí nghiệm ba trục không cố kết – không thoát nước (UU), thí nghiệm cắt cánh (FVT). Ngoài ra,  $S_u$  còn được xác định gián tiếp bằng một số thí nghiệm hiện trường như thí nghiệm xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng (CPTu) và thí nghiệm tẩm nén phẳng (DMT). Kết quả thí nghiệm  $S_u$  từ các phương pháp này thường có sự sai lệch đáng kể gây khó khăn cho việc sử dụng kết quả.

Xuất phát từ thực tế đó, báo cáo này trình bày kết quả phân tích, đánh giá bằng lý thuyết và thực nghiệm kết quả xác định  $S_u$  trong đất yếu. Kết quả nghiên cứu sẽ là tài liệu tham khảo hữu ích cho các bước thiết kế nền móng tiếp theo, góp phần nâng cao hiệu quả kỹ thuật và kinh tế trong xây dựng công trình.

## 2. CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH $S_u$

### 2.1. Sức chống cắt không thoát nước

Trong cơ học đất, khi xem xét quá trình cắt phá của đất, hai điều kiện thủy lực cơ bản thường được phân tích là điều kiện thoát nước và điều kiện không thoát nước.

Ở điều kiện thoát nước, nước trong lỗ rỗng có đủ thời gian thoát ra ngoài khi đất bị biến dạng, do đó ứng suất hữu hiệu ( $\sigma'$ ) là yếu tố chi phối khả năng chịu lực và phá hoại của đất.

Ngược lại, trong điều kiện không thoát nước, thường gặp ở các loại đất sét bão hòa khi chịu gia tải nhanh (như trong giai đoạn thi công), nước lỗ rỗng không kịp thoát ra, làm tăng áp lực nước lỗ rỗng ( $u$ ), dẫn đến việc ứng suất tổng ( $\sigma$ ) trở thành đại lượng chi phối đến độ bền của đất.

Độ bền không thoát nước ( $S_u$ ) phản ánh khả năng chống cắt tức thời của đất và là chỉ tiêu quan trọng được sử dụng trong các bài toán đánh giá ổn định nền đất yếu, đặc biệt trong các giai đoạn thi công công trình khi điều kiện thoát nước chưa được thiết lập đầy đủ.

Việc xác định  $S_u$  chính xác và phù hợp với bài toán thực tế có ý nghĩa rất quan trọng, vì nó quyết định độ chính xác của việc tính toán công trình về xác định tải trọng giới hạn trên đất, độ ổn định của khối đất và áp lực đất lên tường chắn. Hiện nay, có nhiều loại thí nghiệm để xác định sức kháng cắt của đất và được chia ra hai nhóm : các thí nghiệm trong phòng và các thí nghiệm ngoài trời (bảng 1).

*Bảng 1. Các loại thí nghiệm xác định sức kháng cắt của đất.*

| Các thí nghiệm trong phòng            | Các thí nghiệm ngoài trời          |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Thí nghiệm hộp cắt (cắt phẳng DST) | 1. Thí nghiệm cắt cánh (FVT)       |
| 2. Nén một trục (QU)                  | 2. Thí nghiệm xuyên (CPT, SPT, ..) |
| 3. Nén ba trục (UU, CU, CD)           | 3. Thí nghiệm nén ngang (PMT, DMT) |

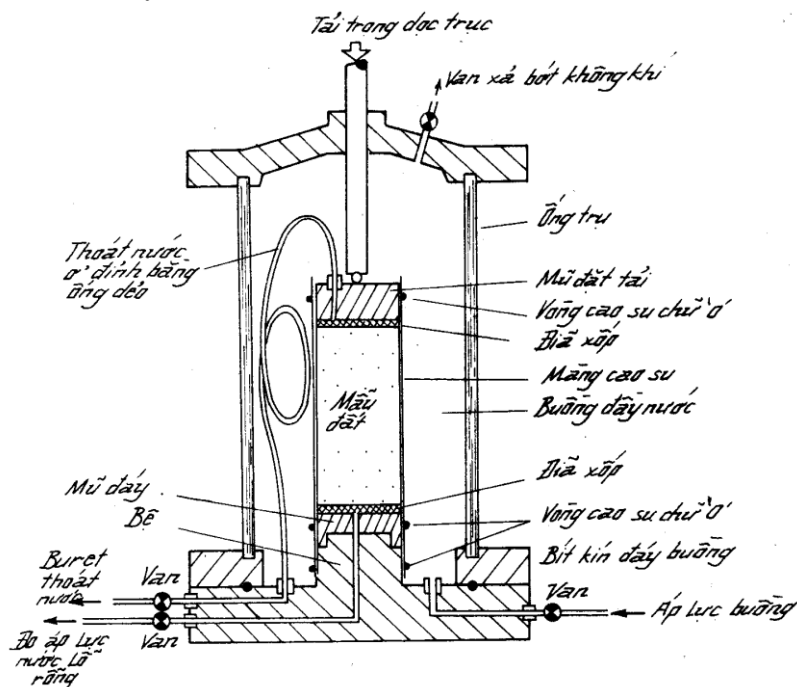
Việc xác định  $S_u$  cho đất yếu thường áp dụng các phương pháp UU, FVT, CPTu, DMT. Cơ chế và đặc điểm của các phương pháp thí nghiệm được trình bày trong phần dưới đây.

### 2.2. Các phương pháp xác định $S_u$

#### 2.2.1. Thí nghiệm nén ba trục.

Thí nghiệm nén ba trục là thí nghiệm xác định sức kháng cắt được dùng rộng rãi, nó thích hợp cho tất cả các loại đất, trừ đất sét rất nhạy, và có thí nghiệm theo nhiều quy trình khác nhau. Sự miêu tả chi tiết về qui trình thí nghiệm nén ba trục có thể tìm thấy trong Bishop và Henkel (1962), Head (1982), Vickers (1983) và trong Tiêu chuẩn Anh 1377 (1975 đã sửa đổi lại).

Thí nghiệm được thực hiện trên một mẫu đất hình trụ có tỉ số giữa chiều cao và đường kính là 2: 1; kích thước thường là 76 x 38 mm và 100 x 50mm. Sự bố trí chung của thiết bị thấy ở hình 1.12.



Hình 1. Sơ đồ thiết bị ba trục

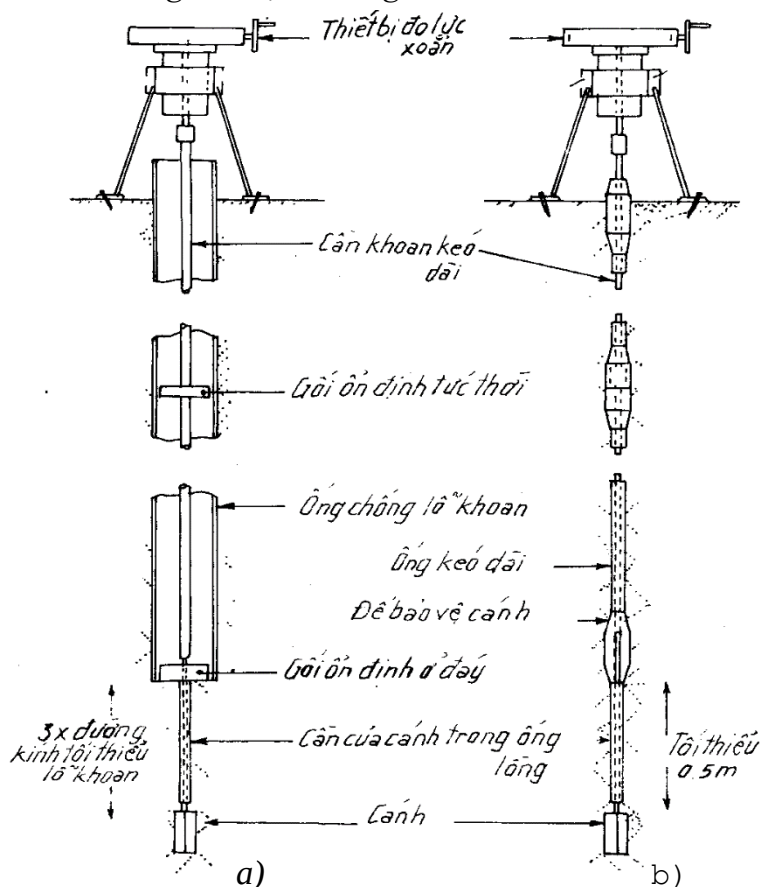
Trong thí nghiệm này, có thể tiến hành trong điều kiện không thoát nước, hoặc có thoát nước. Trong đó, thí nghiệm không thoát nước có hai sơ đồ: thí nghiệm không cố kết – không thoát nước (UU) và thí nghiệm cố kết – không thoát nước (CU).

- Thí nghiệm không cố kết – không thoát nước: Mẫu được đặt vừa khít nằm giữa các đầu mỡ rắn vì thế ngăn cản sự thoát nước. Sau khi thiết lập áp lực buồng đẳng hướng, bắt đầu tăng tải dọc trục một cách đột ngột. Độ lệch ứng suất tăng tương đối nhanh và không bị thoát nước, nhưng không lấy số đo áp lực nước lỗ rỗng; vì thế các kết quả chỉ được biểu thị theo ứng suất tổng. Thời gian thí nghiệm vào khoảng

10 đến 15 phút. Thí nghiệm này dùng xác định độ bền không thoát nước  $c_u$  và  $\varphi_u$  (thực ra chỉ thích hợp cho đất sét bão hoà khi  $\varphi_u=0$ ).

Thí nghiệm cô kết – không thoát nước: Mẫu trước hết được cô kết với sự thoát nước hoàn toàn tại một áp lực buồng thí nghiệm đẳng hướng đã định trước. Khi áp lực nước lỗ rỗng dư bị tiêu tan trở lại giá trị áp lực ban đầu, van thoát nước đóng lại và tải dọc trục tăng lên. Vì thế, mẫu được lấy theo điểm chảy không thoát nước. Trong giai đoạn đã đặt tải dọc trục, có thể dùng một trong các ống nối ở đáy buồng để đo áp lực nước lỗ rỗng. Do vậy, các thông số sức kháng cắt nhận được có quan hệ cả với ứng suất tổng lẫn ứng suất hiệu quả. Thời gian kéo dài của giai đoạn cô kết phụ thuộc vào loại đất và kích thước của mẫu, nhưng trong một số trường hợp có thể kéo dài tới 48 giờ; giai đoạn đặt tải dọc trục thay đổi từ 10 phút tới khoảng 2 giờ. Thí nghiệm này được dùng để xác định các thông số ứng suất hiệu quả  $c'$  và  $\varphi'$  và ngoài ra cả các thông số không thoát nước –  $c_{cu}$  và  $\varphi_{cu}$ .

### 2.2.2. Thí nghiệm cắt cánh ngoài hiện trường.



Hình 2. Thiết bị cắt cánh

a) *Thí nghiệm cắt cánh trong lỗ khoan;*

b) *Thí nghiệm xuyên cắt cánh.*

Trong đất bụi và đất sét mềm yếu, khi lấy mẫu thường gây ra sự xáo động ảnh hưởng lớn tới kết quả xác định sức kháng cắt của đất bằng thí nghiệm trong phòng. Để khắc phục điều này, có thể sử dụng thí nghiệm cắt cánh ngoài hiện trường. Nó cho phép đo sức kháng cắt không thoát nước trong điều kiện trạng thái và áp lực tự nhiên của đất.

Chi tiết về thiết bị được trình bày trên hình 1.18 và hình 1.19. Người ta kiến nghị rằng, với đất yếu ( $c_u < 50 \text{ kN/m}^2$ ) kích thước cánh cắt là  $75\text{mm} \times 150\text{mm}$  và với đất có  $c_u = 50$  á  $100 \text{ kN/m}^2$ , thì kích thước cánh cắt là  $50\text{mm} \times 100\text{mm}$ , không nên sử dụng đối với đất cứng hơn.

Đoạn cần có cánh và các đoạn cần nối phía trên được bao ở trong một ống bọc ngoài để tránh lực dính của đất trong khi tác dụng lực xoắn.

Khi tiến hành thí nghiệm cắt cánh, cánh cắt có bốn lưỡi (hình 1.20) được ấn vào trong đất đến độ sâu cách bề mặt đáy hố khoan một khoảng bằng ba lần đường kính tối thiểu của hố khoan (khoảng 30 á 40cm), rồi quay cánh cắt với tốc độ không đổi khoảng  $6^\circ$  á  $12^\circ/\text{phút}$  (tương đương với tốc độ cắt nhanh của thí nghiệm trong phòng) cho đến khi trụ đất xung quanh cánh cắt bị cắt. Khi quay cánh cắt, tiến hành quan trắc và ghi chép các số đọc, góc quay và mômen xoắn tương ứng. Giai đoạn đầu, khi mô men xoắn của cánh cắt tăng lên thì cứ  $1^\circ - 2^\circ$  đọc giá trị mô men xoắn một lần cho đến khi mômen xoắn đạt giá trị lớn nhất, xác định được sức kháng cắt của đất chưa bị phá hoại. Khi đất bị cắt thì mô men xoắn giảm. Giai đoạn này cứ  $3^\circ - 5^\circ$  đọc mô men xoắn một lần. Tiếp tục quay cánh cắt cho đến khi số đọc mômen xoắn đạt giá trị ổn định để xác định sức kháng cắt của đất khi đất đã bị phá hoại. Mặt cắt tạo ra bao gồm chu vi và đáy của một hình trụ. Sức kháng cắt không thoát nước được xác định như sau:

$$\tau = \frac{M_{\max}}{K} \quad (1)$$

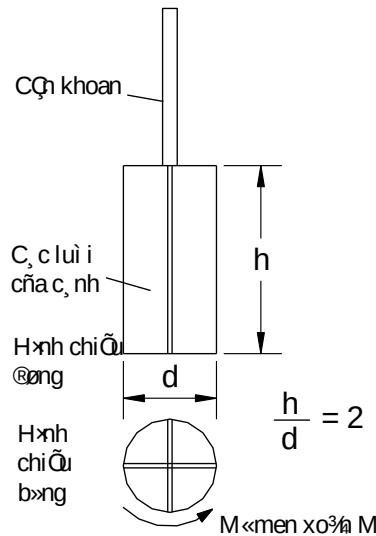
trong đó:

-  $M_{\max}$  là mô men xoắn cực đại, kG.cm

$$K = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{2} \left( 1 + \frac{d}{3h} \right)$$

- K là đại lượng không đổi của cánh,  $\text{cm}^3$ . Thay K vào công thức (1) ta có:

$$\tau = \frac{M_{\max}}{1,75d^2 \left( h + \frac{d}{3} \right)} \quad (2)$$



Hình 3. Cánh cắt

Thí nghiệm cắt cánh thích hợp để xác định sức kháng cắt không thoát nước của đất sét bão hòa và bụi bão hòa. Trong tính toán thiết kế sử dụng tài liệu thí nghiệm cắt cánh, đối với sét mềm yếu hạc bùn, người ta thường xem sức kháng cắt ( $t_{FVT}$ ) chính là lực dính kết không thoát nước ( $c_u$ ). Theo Bjerrum (1972) đề nghị, giá trị  $c_u$  xác định theo thí nghiệm cắt cánh ngoài hiện trường cần được hiệu chỉnh theo công thức sau:

$$c_u \text{ (hiệu chỉnh)} = l \cdot c_u \text{ (thực tế)} \quad (1.15)$$

trong đó,  $l$  là hệ số hiệu chỉnh.

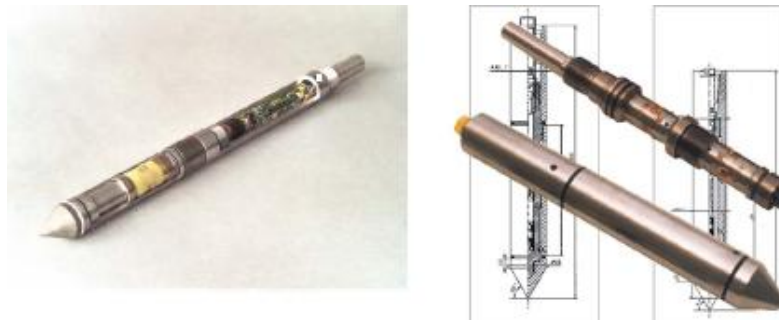
### 2.2.3. Thí nghiệm CPTu

Thí nghiệm xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng (Cone Penetration Test with pore pressure measurement – CPTu) là một phương pháp khảo sát hiện trường bán liên tục, được sử dụng rộng rãi trong địa kỹ thuật để xác định các đặc trưng cơ lý của đất mà không cần lấy mẫu. So với CPT thông thường, CPTu được cải tiến bằng cách bổ sung cảm biến đo áp lực nước lỗ rỗng ( $u$ ) trong mũi xuyên, giúp nâng cao độ tin cậy và cho phép đánh giá được các lớp đất bão hòa yếu một cách chi tiết hơn.

Thí nghiệm CPTu được tiến hành bằng cách đẩy mũi xuyên hình nón vào đất với tốc độ không đổi khoảng 20 mm/s, dưới tác dụng của một hệ thống thủy lực từ xe chuyên

dụng. Trong quá trình xuyên, các cảm biến tích hợp trong hệ thống xuyên liên tục ghi nhận ba đại lượng chính:

- Lực cản mũi xuyên ( $q_c$ ): phản ánh sức kháng của đất tại đầu nón, liên quan đến ứng suất đứt gãy trong vùng chịu nén phía trước mũi nón.
- Lực cản thành ống ( $f_s$ ): được đo tại phần vỏ phía sau mũi nón, thể hiện ma sát giữa đất và thành ống xuyên.
- Áp lực nước lỗ rỗng ( $u$ ): đo tại các vị trí được tiêu chuẩn hóa (thường tại vị trí  $u_2$ , nằm phía sau đầu nón), cho phép đánh giá mức độ bão hòa và phân biệt loại đất.



Hình 4. Cấu tạo của mũi xuyên CPTu

Dữ liệu thu được sẽ được lưu trữ và xử lý để tạo ra các biểu đồ xuyên (CPTu profile), hiển thị biến thiên của  $q_c$ ,  $f_s$  và  $u$  theo chiều sâu. Sử dụng CPTu có thể xác định một số chỉ tiêu cơ lý của đất như sau:

- Xác định  $S_u$  (sức kháng cắt không thoát nước): thông qua các công thức nội suy thực nghiệm từ  $q_c$  và  $f_s$ , kết hợp hiệu chỉnh bằng hệ số ( $N_k$ ).
- Phân loại đất: CPTu cho phép xác định loại đất dựa trên các biểu đồ phân loại như Robertson (1990, 2009), sử dụng chỉ số xuyên tĩnh tương đương và chỉ số lỗ rỗng.
- Xác định ranh giới phân tầng địa chất: do khả năng ghi nhận liên tục, CPTu rất hiệu quả trong việc phát hiện các thay đổi nhỏ trong địa tầng.
- Đánh giá các chỉ tiêu khác: như hệ số ứng suất tại chỗ ( $K_0$ ), sức chịu tải, độ cố kết, hệ số thấm (không trực tiếp), v.v.

Trong đó, việc xác định  $S_u$  như sau:

1) Xác định  $S_u$  từ sức kháng xuyên đầu mũi đã hiệu chỉnh ( $q_c$ ):

$$Su = \frac{(qt - \sigma_{vo})}{N_{kt}} \quad (3.6)$$

Trong đó,  $N_{kt}$  là hệ số mũi côn, thay đổi từ 10 – 20 tùy theo loại đất.

2) Xác định  $Su$  từ sức kháng xuyên đầu mũi hiệu quả ( $qe$ ):

$$Su = \frac{qe}{N_{ke}} = \frac{(qt - u_2)}{N_{ke}} \quad (3.7)$$

Trong đó,  $N_{ke}$  là hệ số mũi côn, được xác định tùy theo loại đất. Theo Senneset đề nghị lấy  $N_{ke} = 9 \pm 3$ .

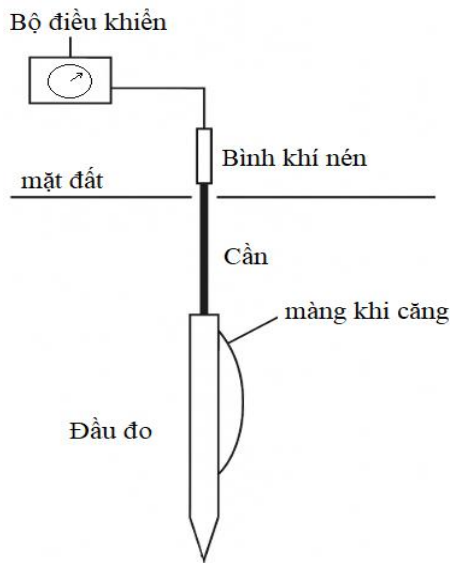
3) Xác định  $Su$  từ áp lực nước lỗ rỗng dư ( $u$ ):

$$Su = \frac{\Delta u}{N_{\Delta u}} = \frac{(u_2 - u_o)}{N_{\Delta u}} \quad (3.8)$$

Trong đó,  $N_{Du}$  là hệ số được xác định tùy theo loại đất. Theo Lunne,  $N_{Du}$  thay đổi từ 2 - 10.

#### 2.2.4. Thí nghiệm DMT

Thí nghiệm nén phẳng Dilatometer là một trong những phương pháp thí nghiệm tại hiện trường được sử dụng phổ biến trong khảo sát và phân tích địa kỹ thuật, đặc biệt trong việc đánh giá các đặc trưng cơ học của đất yếu (Marchetti, S., 1980, 2001, 2007, 2019; Monaco P., etc, 2007). Thiết bị thí nghiệm DMT gồm đầu đo dẹt (blade) bằng thép với màng kim loại tròn, mỏng, có đường kính 60 mm, được nối với bộ điều khiển trên mặt đất bằng ống khí nén-dây điện luồn theo các cần xuyên. Bộ điều khiển bao gồm các đồng hồ áp suất, đèn báo và âm thanh báo, các van để điều chỉnh áp suất khí nén được cung cấp từ bình khí nén (Hình 1). Trong quá trình thí nghiệm, đầu đo được ép xuống đất và thí nghiệm theo từng độ sâu.



Hình 5. Sơ đồ cấu tạo thiết bị DMT

Các thông số cần xác định trong quá trình thí nghiệm DMT bao gồm: Áp suất ban đầu  $P_0$  là áp suất để màng bắt đầu di chuyển (số đọc “A”); Áp suất  $P_1$  là áp suất để màng dịch chuyển 1.1 mm (số đọc “B”) và áp suất  $P_2$  là áp suất còn lại (số đọc “C”) sau khi xả áp để màng dịch chuyển về vị trí ban đầu. Từ các thông số đo được, các chỉ số DMT được xác định như sau ((Marchetti 1980, Lutenegeger and Kabir1988)):

- Chỉ số vật liệu hay còn gọi là chỉ số loại đất ( $I_D$ ):

$$I_D = (P_1 - P_0) / (P_0 - U_0) \quad (3)$$

- Chỉ số ứng suất theo phương ngang ( $K_D$ ):

$$K_D = (P_0 - U_0) / \sigma_{vo}' \quad (4)$$

- Mô đun nén ngang ( $E_D$ ):

$$E_D = 34,7(P_1 - P_0) \quad (5)$$

- Hệ số áp lực nước lỗ rỗng:

$$U_D = (P_2 - P_0) / (P_0 - U_0) \quad (6)$$

Trong đó:  $U_0$  là áp lực nước lỗ rỗng ban đầu (bằng áp lực thủy tĩnh);  $\sigma_{vo}'$  là ứng suất hiệu quả theo phương đứng.

Các chỉ số DMT là cơ sở xác định các đặc trưng của đất như loại đất, độ bền không thoát nước ( $S_u$ ), mô đun nén ngang ( $E_D$ ), hệ số áp lực hông ( $K_0$ ), áp lực tiền cố kết ( $p_c$ ), hệ số quá cố kết (OCR) và một số chỉ tiêu khác.

Độ bền không thoát nước của đất có thể được xác định từ kết quả thí nghiệm DMT thông qua nhiều công thức thực nghiệm khác nhau, tùy thuộc vào đặc điểm phân loại và tính chất cơ lý của đất. Tổng hợp các nghiên cứu cho thấy, ba nhóm công thức thực nghiệm đã được đề xuất để xác định độ bền không thoát nước của đất từ kết quả thí nghiệm DMT, tương ứng với từng loại đất: đất hữu cơ (Rabarijoely, 2000), đất sét với chỉ số  $I_D < 1,2$  (Marchetti, 1980; Kamei, 1995), và đất sét mềm yếu (Lutenegger, 1990; Roque, 1988). Đối với đất sét mềm yếu, ít hoặc không chứa thành phần hữu cơ, có thể áp dụng một số công thức thực nghiệm sau:

- Theo Marchetti (1980):

$$S_u = 0,22 \cdot \sigma'_{vo} (0,5K_D)^{1,25} \quad (7)$$

- Theo Kamei (1995):

$$S_u = 0,35 \cdot \sigma'_{vo} (0,47K_D)^{1,14} \quad (8)$$

- Theo Lutenegger (1990):

$$S_u = (P_o - P_2)/2,65 \quad (9)$$

- Theo Roque (1988):

$$S_u = (P_1 - \sigma_{ho})/N_c \quad (10)$$

Trong đó,  $\sigma_{ho}$  là áp lực địa tầng theo phương ngang;  $N_c$  là hệ số kháng cắt của đất, lấy bằng trong khoảng từ 5 đến 9 tỷ lệ với tính dẻo của đất.

Các biểu thức (6), (7) đang được sử dụng phổ biến để xác định  $S_u$  cho đất có  $I_D < 1,2$  (đất loại sét). Biểu thức (8) được Lutenegger và cộng sự (1990) đề xuất cho đất yếu. Trong khi biểu thức (9) được Lutenegger đánh giá có thể áp dụng cho đất sét mềm yếu (Lutenegger A. J., 1990) nếu biết áp lực địa tầng theo phương ngang:

$$\sigma_{ho} = K_o \sigma'_{vo} + U_o \quad (11)$$

Trong đó,  $K_o$  là hệ số áp lực hông của đất, có thể được xác định từ kết quả thí nghiệm DMT theo công thức thực nghiệm do Marchetti (1980) đề xuất:  $K_o = (K_D/1,5)^{0,47} - 0,6$ .

Như vậy, cả bốn biểu thức thực nghiệm nêu trên đều có khả năng áp dụng cho các loại đất yếu phổ biến tại Việt Nam. Tuy nhiên, việc lựa chọn công thức và các hệ số thực nghiệm đi kèm cần được hiệu chỉnh dựa trên kết quả thí nghiệm tin cậy tại từng khu vực cụ thể, nhằm đảm bảo tính chính xác và phù hợp với điều kiện địa chất địa phương.

Tổng hợp các phương pháp thí nghiệm xác định  $S_u$  được trình bày trong Bảng 2.

*Bảng 2. Bảng tổng hợp các phương pháp thí nghiệm thường dùng xác định  $S_u$  trong đất yếu ở Việt Nam*

| TT | Tên phương pháp thí nghiệm                                                                 | Ưu nhược điểm                                                                                                        | Phương pháp xác định |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1  | Ba trục theo các sơ đồ: không cố kết, không thoát nước (UU); cố kết, không thoát nước (CU) | Mô phỏng được điều kiện ứng suất thực tế (UU) hay dự đoán (CU). Chịu ảnh hưởng xáo động mẫu, thí nghiệm trên mẫu nhỏ | Trực tiếp            |
| 2  | Cắt phẳng (DST)                                                                            | Đơn giản, chi phí thấp. Chịu ảnh hưởng xáo động mẫu, thí nghiệm trên mẫu nhỏ, cắt theo mặt định trước                | Trực tiếp            |
| 3  | Thí nghiệm cánh cắt (FVT)                                                                  | Điều kiện thí nghiệm thực tế. Có thể chịu ảnh hưởng của ma sát cần, cắt theo mặt định trước                          | Trực tiếp            |
| 4  | Thí nghiệm xuyên tĩnh CPT/CPTu                                                             | Điều kiện thí nghiệm thực tế, số liệu thí nghiệm liên tục theo chiều sâu.                                            | Xác định gián tiếp   |
| 5  | Thí nghiệm DMT                                                                             | Điều kiện thí nghiệm thực tế                                                                                         | Xác định gián tiếp   |

### 3. ĐÁNH GIÁ CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH $S_u$

#### 3.1. Cơ sở đánh giá

Việc xác định các chỉ tiêu cơ học của đất từ kết quả thí nghiệm DMT chịu ảnh hưởng bởi loại đất, điều kiện thành tạo và tồn tại của đất, vốn mang tính chất địa phương. Do đó, khi áp dụng DMT cho các loại đất yếu tại từng khu vực cụ thể, cần thiết phải đánh giá mức độ phù hợp và độ tin cậy của kết quả thông qua so sánh với các phương pháp truyền thống như UU, DST, FVT, CPTu,... Việc tiến hành đồng thời các thí nghiệm này tại cùng một vị trí không chỉ cho phép hiệu chỉnh các kết quả thu được từ DMT, mà còn góp phần nâng cao độ chính xác và độ tin cậy trong xác định các chỉ tiêu cơ học của đất. Trong quá trình này, cần xác định một phương pháp có độ chính xác và độ tin cậy cao để làm cơ sở chuẩn (phương pháp chuẩn) cho việc so sánh và đánh giá. Phương pháp chuẩn để xác định một chỉ tiêu cơ học của đất cần phải là phương pháp xác định trực tiếp, có khả năng phản ánh đúng cơ chế ứng xử của đất và phù hợp với điều kiện làm việc thực tế

Trong thực tế, có ba phương pháp thí nghiệm trực tiếp thường được sử dụng để xác định sức kháng không thoát nước ( $S_u$ ) của đất là thí nghiệm cắt phẳng (DST), ba trục không cố kết – không thoát nước (UU), và cắt cánh hiện trường (FVT). Trong số này, thí nghiệm UU được đánh giá là phản ánh khá tốt cơ chế ứng xử thực tế của đất, do mẫu bị cắt theo mặt trượt nguy hiểm nhất, tức là mặt yếu nhất chịu ứng suất cắt lớn nhất và mô phỏng được điều kiện ứng suất không thoát nước trong thực địa. Tuy nhiên, kết quả UU dễ bị ảnh hưởng bởi sự xáo động mẫu, đặc biệt là với đất yếu.

Trong khi đó, thí nghiệm FVT được thực hiện trực tiếp trong điều kiện tự nhiên, không chịu ảnh hưởng của xáo động mẫu, nhưng quá trình cắt diễn ra theo mặt cưỡng ép, không trùng với mặt trượt nguy hiểm, dẫn đến kết quả thường cao hơn giá trị thực (Coduto, 2011). Thí nghiệm DST lại có nhiều hạn chế do chịu ảnh hưởng bởi cả xáo động mẫu, mặt cắt cưỡng ép và điều kiện ứng suất không phù hợp với thực tế, do đó có độ chính xác và độ tin cậy thấp nhất.

Như vậy, thí nghiệm UU có thể được xem là phương pháp chuẩn để xác định  $S_u$ , với điều kiện kiểm soát tốt ảnh hưởng của xáo động mẫu – điều này khả thi đối với đất tốt hoặc khi sử dụng ống mẫu chuyên dụng cho đất yếu. Tuy nhiên, trong thực tiễn, việc loại bỏ hoàn toàn tác động xáo động mẫu khi lấy và lắp mẫu đất yếu vào thiết bị ba trục vẫn còn nhiều khó khăn. Do đó, việc kết hợp giữa phương pháp UU và FVT là cần thiết nhằm hỗ trợ, hiệu chỉnh lẫn nhau để nâng cao độ tin cậy trong xác định  $S_u$  của đất yếu (Terzaghi, 1996; Coduto, 2011)

### 3.2. Kết quả nghiên cứu thực tế

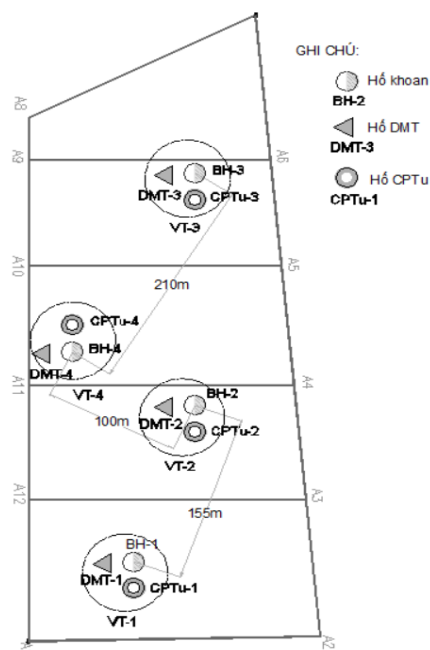
#### 3.2.1. Phương pháp tiến hành

Để đánh giá khả năng ứng dụng thí nghiệm DMT xác định  $S_u$  của đất yếu, một tổ hợp các phương pháp khảo sát và thí nghiệm hiện trường đã được triển khai đồng thời tại bốn điểm (VT-1, VT-2, VT-3, VT-4) thuộc khu vực Cảng Cái Mép, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (Hình 2). Tại mỗi điểm, tổ hợp khảo sát bao gồm: một hố khoan (BH) để xác định địa tầng, thực hiện thí nghiệm cắt cánh (FVT) và lấy mẫu thí nghiệm trong phòng; một hố xuyên tĩnh CPTu và một hố thí nghiệm DMT (Hình 3).

Các hố khoan, xuyên và DMT tại mỗi vị trí được bố trí với khoảng cách khoảng 2 m nhằm đảm bảo điều kiện địa chất và tính chất cơ lý của đất giữa các hố là tương đương, đồng thời hạn chế tối đa sự ảnh hưởng qua lại giữa các thí nghiệm. Hệ thống ký hiệu cho các hố khoan, xuyên và DMT được đặt theo thứ tự điểm nghiên cứu như minh họa trong Hình 2b. Thông tin chi tiết về thiết bị sử dụng, khối lượng khảo sát và thí nghiệm tại hiện trường được trình bày trong Bảng 2.



Hình 6. Vị trí khu vực nghiên cứu



Hình 7 Vị trí khu các điểm khảo sát

Bảng 3. Tổng hợp thiết bị, tiêu chuẩn sử dụng và khối lượng khảo sát, thí nghiệm tại các vị trí nghiên cứu

| TT | Loại hình khảo sát, thí nghiệm | Loại thiết bị sử dụng | Tiêu chuẩn áp dụng | Khối lượng tại mỗi điểm nghiên cứu |      |      |      |
|----|--------------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------------|------|------|------|
|    |                                |                       |                    | VT-1                               | VT-2 | VT-3 | VT-4 |
| 1  | Khoan (m)                      | XY - 100              | TCVN 9437:2012     | 33,0                               | 33,0 | 33,0 | 33,0 |
| 2  | Lấy mẫu (mẫu)                  | ống mẫu thành mỏng    | ASTM D1587         | 12                                 | 12   | 12   | 12   |
| 3  | FVT (điểm)                     | Geonor H70            | ASTM D2573         | 9                                  | 8    | 9    | 12   |
| 4  | UU (mẫu)                       | Controls – 50kN       | ASTM D2850         | 6                                  | 6    | 6    | 6    |
| 5  | CPTu (m)                       | Geomil - 100kN        | ASTM D5778         | 30,0                               | 30,0 | 30,0 | 30,0 |

|   |               |                     |               |    |    |    |    |
|---|---------------|---------------------|---------------|----|----|----|----|
| 6 | DMT<br>(điểm) | Flat<br>Dilatometer | ASTM<br>D6635 | 10 | 10 | 10 | 10 |
|---|---------------|---------------------|---------------|----|----|----|----|

### 3.2.2. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

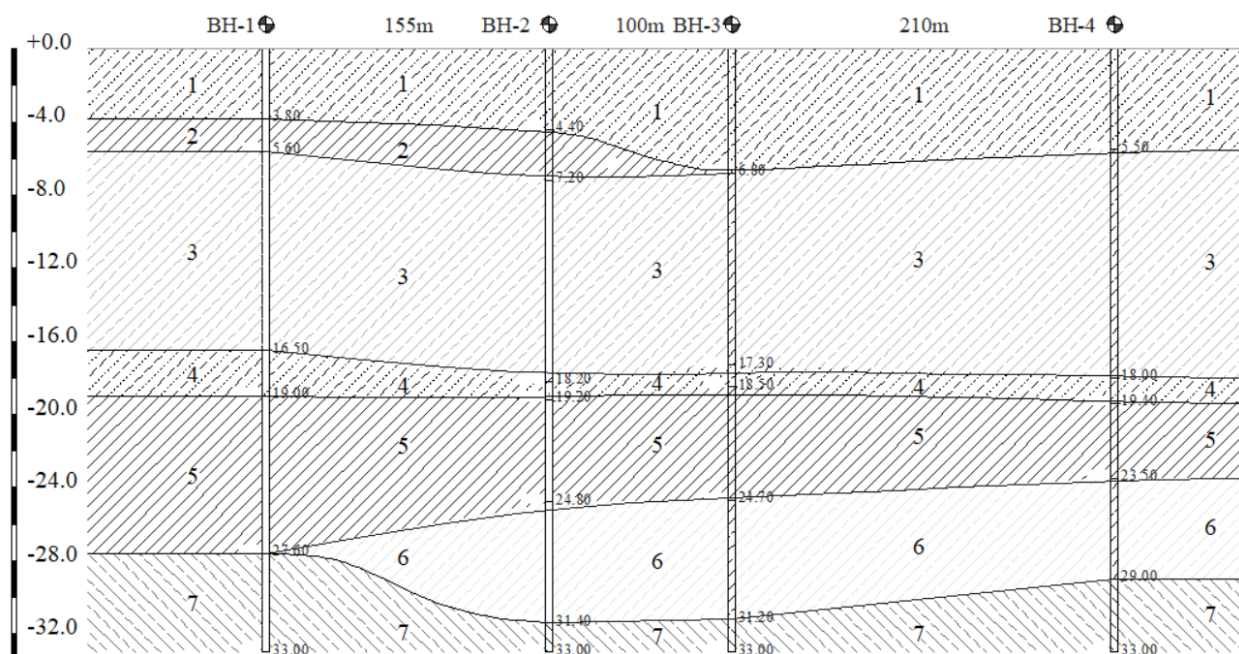
Theo kết quả khảo sát của 4 hố khoan và 48 mẫu thí nghiệm thông thường, nền đất khu vực nghiên cứu đến độ sâu 33,0m bao gồm 7 lớp đất với đặc điểm phân bố như tổng hợp trong bảng 3. Tiến hành thí nghiệm 48 mẫu trong 6 lớp đất (trừ lớp đất san lấp) để xác định các chỉ tiêu vật lý cơ bản như: độ ẩm ( $w$ ), khối lượng thể tích tự nhiên ( $\gamma$ ), tỷ trọng hạt ( $\Delta$ ), hệ số rỗng ( $e$ ), Độ bão hòa ( $S_r$ ), độ ẩm giới hạn chảy ( $w_L$ ), độ ẩm giới hạn dẻo ( $w_P$ ) và độ sệt ( $I_s$ ). Trị số trung bình của các chỉ tiêu này cho mỗi lớp đất được tổng hợp trong bảng 4.

*Bảng 4. Bảng tổng hợp các lớp đất và đặc điểm phân bố*

| Lớp đất                                          | Độ sâu phân bố (m) | Chiều dày trung bình |
|--------------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Lớp 1: Đất san lấp (cát pha xám đen)             | 0,0 – 6,8          | 5,1                  |
| Lớp 2: Sét pha, xám nâu, dẻo mềm                 | 3,8 – 7,2          | 2,07                 |
| Lớp 3: Sét, xám xanh, xám đen, dẻo chảy          | 5,5 – 18,2         | 11,2                 |
| Lớp 4: Sét pha nhẹ, xám vàng, dẻo mềm            | 16,5 – 19,4        | 1,52                 |
| Lớp 5: Sét, xám xanh, dẻo chảy                   | 23,5 – 31,4        | 6,12                 |
| Lớp 6: Sét pha, xám vàng, dẻo cứng               | 31,0 – 33,0        | 6,2                  |
| Lớp 7 - Sét pha, xen kẹp cát, xám vàng, dẻo cứng | 27,6 đến >33m      |                      |

*Bảng 5. Tổng hợp các chỉ tiêu vật lý của các lớp đất*

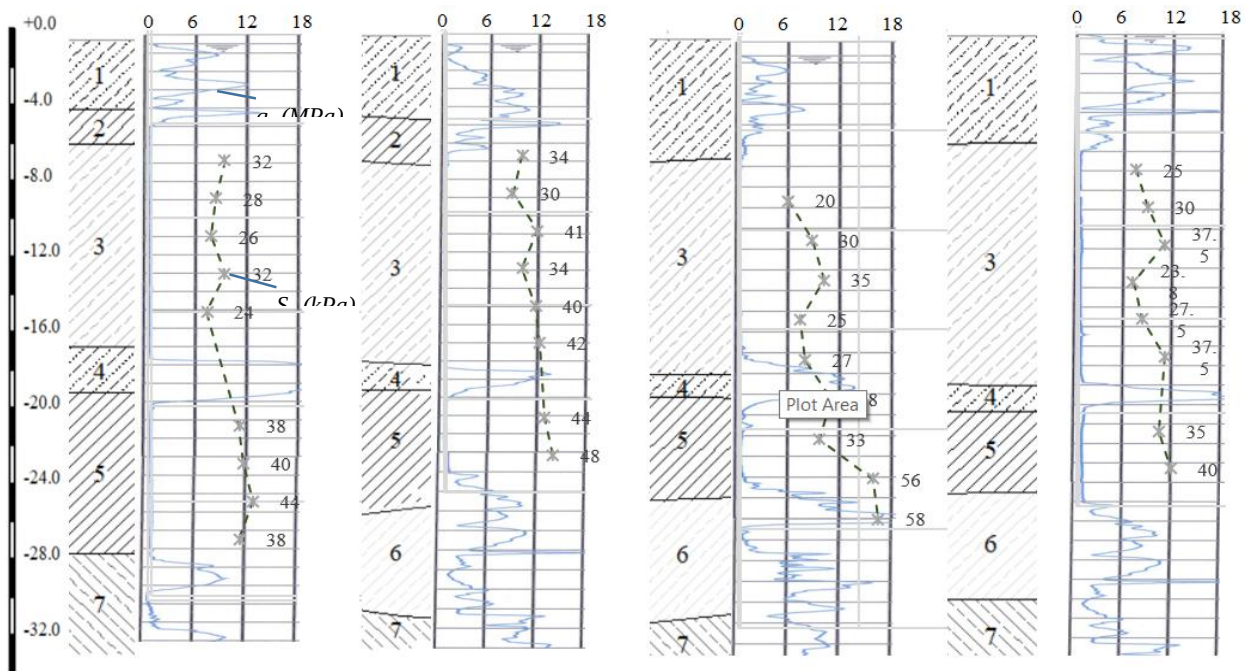
| Chỉ tiêu                      | Lớp 2 | Lớp 3 | Lớp 4 | Lớp 5 | Lớp 6 | Lớp 7 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $w$ (%)                       | 30,5  | 64,7  | 23,9  | 53,8  | 28,0  | 22,0  |
| $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 18,1  | 15,5  | 18,5  | 16,2  | 18,5  | 19,0  |
| $\Delta$                      | 2,69  | 2,60  | 2,66  | 2,63  | 2,70  | 2,66  |
| $e$                           | 0,902 | 1,718 | 0,744 | 1,451 | 0,830 | 0,677 |
| $S_r$ (%)                     | 90,9  | 97,9  | 85,6  | 97,4  | 90,5  | 86,7  |
| $w_L$ (%)                     | 38,1  | 68,4  | 26,8  | 61,3  | 37,2  | 28,3  |
| $w_P$ (%)                     | 22,0  | 32,5  | 17,4  | 30,1  | 21,2  | 19,0  |
| $I_P$ (%)                     | 16,1  | 35,9  | 9,4   | 31,2  | 16,0  | 9,4   |
| $I_s$                         | 0,53  | 0,90  | 0,73  | 0,76  | 0,41  | 0,33  |



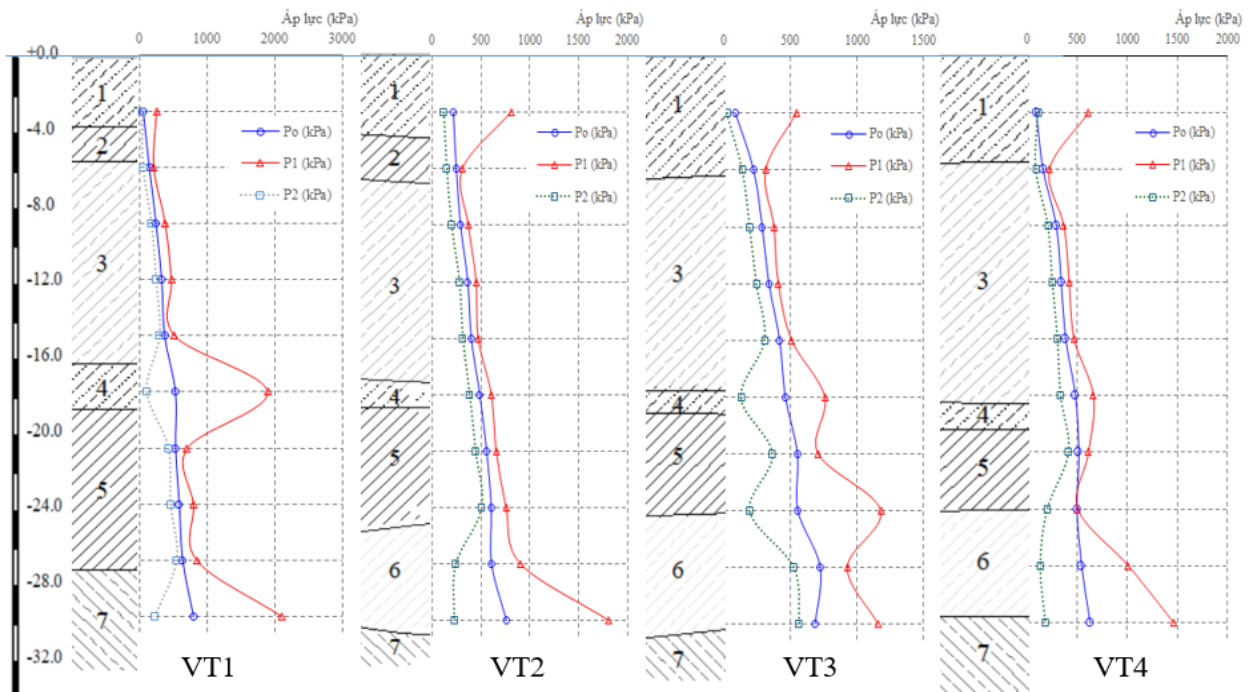
Hình 8. Mặt cắt địa tầng khu vực nghiên cứu

Dựa vào kết quả thí nghiệm tổng hợp trong bảng 4, nền đất khu vực có hai lớp đất yếu là lớp 3 và lớp 5 đều thuộc loại đất sét ở trạng thái dẻo chảy ( $0,75 < I_s < 1$ ), có hệ số rỗng, độ ẩm và độ bão hòa lớn ( $e > 1$ ,  $w > 50\%$ ,  $S_r > 97\%$ ). Trong đó, dễ dàng nhận thấy lớp 5 có tính chất xây dựng tốt hơn lớp 3 do độ sệt (lớp 3 có  $0,85 < I_s < 1,02$ ; lớp 5 có  $0,67 < I_s < 0,82$ ), độ ẩm, hệ số rỗng nhỏ hơn, dung trọng tự nhiên lớn hơn. Nhìn chung, đất yếu trong khu vực phân bố từ độ sâu từ khoảng độ sâu (5,5 – 7,0)m đến khoảng độ sâu (23,5 – 27,6)m, xen kẽ một lớp mỏng sét pha, dẻo mềm (lớp 4). Kết quả thí nghiệm hiện trường FVT, CPTu, DMT tại các điểm khảo sát được biểu diễn trên các hình 4, 5. Kết quả thí nghiệm UU trong các lớp đất yếu được tổng hợp trong bảng 5.

Theo kết quả trình bày trong bảng 5: lớp 3 có lực dính kết không thoát nước ( $c_{uu}$ ) thay đổi từ 13,9 kPa đến 16,7 kPa, trung bình bằng 15,0 kPa và  $S_u = (25,9 - 29,3)$  kPa,  $S_u$  trung bình bằng 27,0 kPa; lớp 5 có  $c_{uu} = (14,7 - 18,5)$  kPa,  $c_{uu}$  trung bình bằng 16,8 kPa và  $S_u = (32,0 - 54,3)$  kPa,  $S_u$  trung bình bằng 37,7 kPa.



Hình 9. Biểu đồ kết quả thí nghiệm FVT và CPTu tại các điểm khảo sát



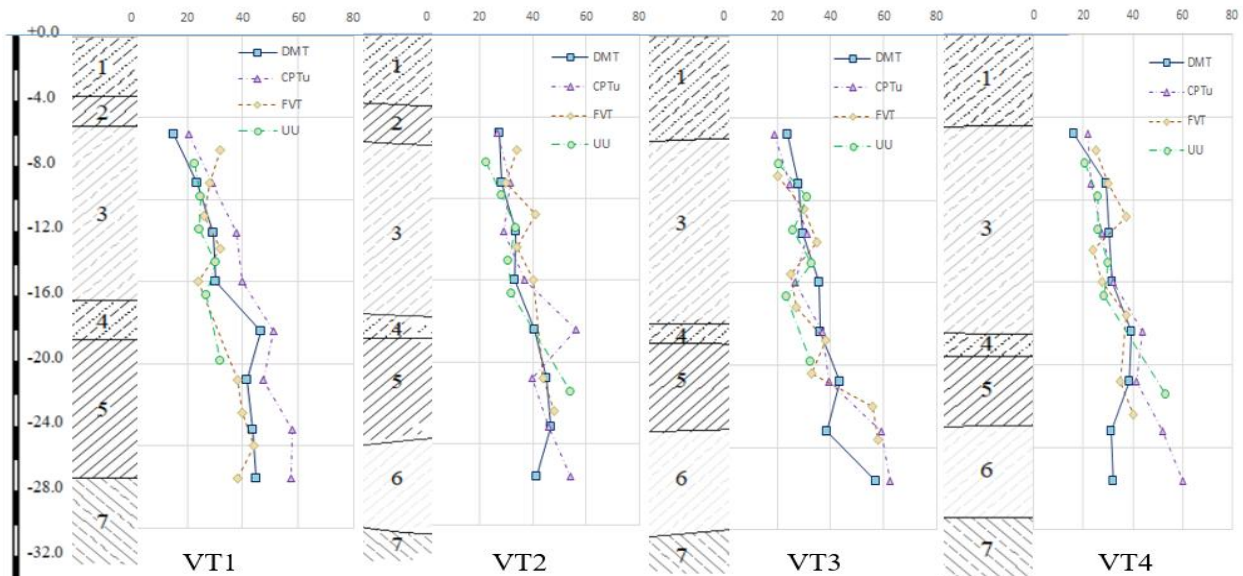
Hình 10. Biểu đồ kết quả thí nghiệm DMT tại các điểm khảo sát

Bảng 6. Tổng hợp kết quả thí nghiệm UU trong các lớp đất yếu

| Lớp đất yếu | Độ sâu     | VT-1             |                |             | VT-2             |                |             | VT-3             |                |             | VT-4             |                |             |
|-------------|------------|------------------|----------------|-------------|------------------|----------------|-------------|------------------|----------------|-------------|------------------|----------------|-------------|
|             |            | $\phi_{uu}$ (độ) | $c_{uu}$ (kPa) | $S_u$ (kPa) | $\phi_{uu}$ (độ) | $c_{uu}$ (kPa) | $S_u$ (kPa) | $\phi_{uu}$ (độ) | $c_{uu}$ (kPa) | $S_u$ (kPa) | $\phi_{uu}$ (độ) | $c_{uu}$ (kPa) | $S_u$ (kPa) |
| Lớp 3       | 7.8        | 2.70             | 16.2           | 22.7        | 2.50             | 16.4           | 22.4        | 3.00             | 13.3           | 20.6        | 2.75             | 14.0           | 20.6        |
|             | 9.8        | 3.40             | 14.6           | 24.9        | 4.30             | 15.3           | 28.3        | 4.60             | 17.2           | 31.1        | 3.48             | 15.2           | 25.7        |
|             | 11.8       | 3.10             | 13.1           | 24.4        | 4.30             | 17.8           | 33.4        | 3.50             | 13.0           | 25.8        | 3.15             | 14.4           | 25.9        |
|             | 13.8       | 3.15             | 16.9           | 30.3        | 3.10             | 17.4           | 30.6        | 4.10             | 15.5           | 33.0        | 3.98             | 12.9           | 29.9        |
|             | 15.8       | 2.46             | 15.0           | 27.0        | 3.15             | 16.5           | 31.8        | 2.30             | 12.4           | 23.6        | 3.20             | 12.9           | 28.4        |
|             | Trung bình | 2.96             | 15.2           | 25.9        | 3.47             | 16.7           | 29.3        | 3.50             | 14.3           | 26.8        | 3.31             | 13.9           | 26.1        |
| Lớp 5       | 19.8       | 2.60             | 16.1           | 32.0        |                  |                |             | 2.90             | 14.7           | 32.4        |                  |                |             |
|             | 21.8       |                  |                |             | 5.30             | 18.5           | 54.3        |                  |                |             | 5.20             | 18.1           | 53.2        |
|             | Trung bình | 2.60             | 16.1           | 32.0        | 5.30             | 18.5           | 54.3        | 2.90             | 14.7           | 32.4        | 5.20             | 18.1           | 53.2        |

### 3.2.3 Kết quả xác định $S_u$

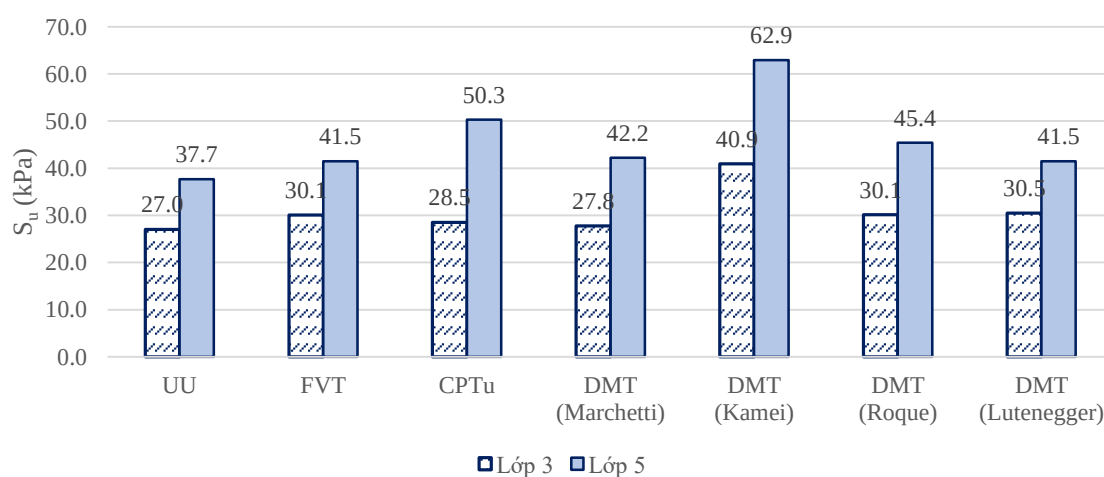
Trong nghiên cứu này, độ bền không thoát nước  $S_u$  của đất yếu (lớp 3 và lớp 5) được xác định từ các thí nghiệm UU, FVT, CPTu và DMT. Trong đó,  $S_u$  tính theo kết quả thí nghiệm CPTu bằng biểu thức (1) với  $N_{kt} = 16$ ; bằng biểu thức (6), (7), (8), (9) theo kết quả thí nghiệm DMT. Các kết quả xác định  $S_u$  trong các lớp đất yếu được tổng hợp trong bảng 6. Hình 6 biểu diễn đồng thời biểu đồ  $S_u$  theo các phương pháp khác nhau ở 4 điểm khảo sát. Trên hình 7 là biểu đồ biểu diễn trị số  $S_u$  trung bình của lớp 3 và lớp 5 theo các phương pháp khác nhau.



Hình 11. So sánh  $S_u$  (kPa) theo thí nghiệm DMT (Marchetti) với các thí nghiệm CPTu, FVT, UU

Bảng 7. Tổng hợp kết quả xác định  $S_u$  (kPa) theo các phương pháp khác nhau

| Lớp đất yếu | Điểm khảo sát     | UU          | FVT         | CPT <sub>u</sub> | DMT (Marchetti) | DMT (Kamei) | DMT (Roque) | DMT (Lutenegger) |
|-------------|-------------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|-------------|-------------|------------------|
| Lớp 3       | VT-1              | 25,9        | 28,4        | 31,7             | 24,5            | 36,5        | 31,5        | 28,9             |
|             | VT-2              | 29,3        | 35,8        | 31,0             | 30,7            | 44,9        | 30,8        | 32,0             |
|             | VT-3              | 26,8        | 27,4        | 25,3             | 29,3            | 43,0        | 30,8        | 30,4             |
|             | VT-4              | 26,1        | 28,8        | 26,0             | 26,7            | 39,5        | 27,4        | 30,5             |
|             | <b>Trung bình</b> | <b>27,0</b> | <b>30,1</b> | <b>28,5</b>      | <b>27,8</b>     | <b>40,9</b> | <b>30,1</b> | <b>30,5</b>      |
| Lớp 5       | VT-1              | 32,0        | 40,0        | 54,3             | 43,3            | 64,6        | 52,7        | 41,1             |
|             | VT-2              | 40,7        | 46,0        | 46,7             | 44,4            | 65,7        | 47,1        | 40,7             |
|             | VT-3              | 32,4        | 42,3        | 53,6             | 46,4            | 68,7        | 49,2        | 46,3             |
|             | VT-4              | 45,7        | 37,5        | 46,7             | 34,8            | 52,7        | 32,6        | 37,9             |
|             | <b>Trung bình</b> | <b>37,7</b> | <b>41,5</b> | <b>50,3</b>      | <b>42,2</b>     | <b>62,9</b> | <b>45,4</b> | <b>41,5</b>      |

Hình 12. Biểu đồ so sánh  $S_u$  (kPa) nhận được từ các thí nghiệm khác nhau

Dựa theo các kết trình bày trên hình 7 và bảng 6 có thể thấy:

- Thí nghiệm UU cho kết quả thấp nhất so với các phương pháp hiện trường. Điều này có thể được giải thích bởi một phần do ảnh hưởng của xáo động mẫu, một phần do mẫu bị cắt theo mặt yếu nhất.

-  $S_u$  từ thí nghiệm FVT cao hơn thí nghiệm UU từ 10,1% (lớp 5) đến 11,5% (lớp 3). Kết quả này cho thấy hai thí nghiệm khá tương đồng và ảnh hưởng của xáo động mẫu với thí nghiệm UU không đáng kể, một phần sai lệch còn do FVT cắt đất theo mặt cường bức. So sánh kết quả FVT với  $c_{uu}$  (từ thí nghiệm UU) chỉ ra rằng kết quả FVT cao hơn  $c_{uu}$  từ 2,0 lần (lớp 3) đến 2,46 lần (lớp 5). Điều này cho thấy việc coi độ bền không thoát nước của đất yếu là  $c_{uu}$  trong trường hợp này không hợp lý.

- Kết quả xác định  $S_u$  theo CPTu (với  $N_{kt} = 16$ ) khá phù hợp trong lớp 3 (có độ sệt  $I_s = 0,90$ ) với độ sai lệch nhỏ (+5,6%), nhưng có độ sai lệch lớn (+33,4%) trong lớp 5. Điều này có thể do việc lựa chọn hệ số  $N_{kt}$  chưa phù hợp trong lớp 5 (có độ sệt  $I_s = 0,76$ , gần ngưỡng dẻo mềm).

- Việc áp dụng xác định  $S_u$  từ kết quả thí nghiệm DMT trong lớp 3: các biểu thức của Marchetti, Roque và Lutenegger có độ sai lệch không đáng kể so với UU, từ +3,0% đến 12,4%, đồng thời khá tương đồng với FVT. Mức sai lệch như vậy được xem là tương đối nhỏ nếu so với mức phổ biến 20% đến 30% (Kiousis, P. D., 2001; Ismail, M. A., 2004; Ferek, V., 2012). Trong khi biểu thức của Kamei cho độ lệch lớn (+51,5%) so với UU. Ở lớp 5, các biểu thức của Marchetti, Lutenegger cho kết quả tương đương với FVT và sai lệch không đáng kể với UU (từ +10,1% đến +11,9%); trong khi độ sai lệch đáng kể khi áp dụng biểu thức của Roque (20,4%) và rất lớn với biểu thức của Kamei (66,8%).

Như vậy, trong các biểu thức xác định  $S_u$  từ DMT cho đất yếu khu vực nghiên cứu, biểu thức của Marchetti thể hiện độ phù hợp cao nhất, tiếp đến là biểu thức của Lutenegger. Biểu thức của Roque chỉ phù hợp với lớp 3, trong khi biểu thức của Kamei không phù hợp.

**Bảng 8. So sánh kết quả xác định  $S_u$  theo các phương pháp khác nhau**

| Phương pháp      | $S_u$ trung bình (kPa) |       | Sai lệch so với UU (%) |               |
|------------------|------------------------|-------|------------------------|---------------|
|                  | Lớp 3                  | Lớp 5 | Lớp 3                  | Lớp 5         |
| UU               | 27,0                   | 37,7  | 0,0%                   | 0,0%          |
| FVT              | 30,1                   | 41,5  | +11,5%                 | +10,1%        |
| CPTu             | 28,5                   | 50,3  | +5,6%                  | <b>+33,4%</b> |
| DMT (Marchetti)  | 27,8                   | 42,2  | +3,0%                  | +11,9%        |
| DMT (Kamei)      | 40,9                   | 62,9  | <b>+51,5%</b>          | <b>+66,8%</b> |
| DMT (Roque)      | 30,1                   | 45,4  | +11,5%                 | +20,4%        |
| DMT (Lutenegger) | 30,5                   | 41,5  | +12,4%                 | +10,1%        |

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Đặc điểm sức kháng cắt không thoát nước phụ thuộc vào thành phần, trạng thái, tính chất và chế độ tác dụng của tải trọng. Vì vậy, việc xác định sức kháng cắt trong điều kiện khác nhau, phương pháp thí nghiệm khác nhau sẽ khác nhau:

- Thí nghiệm UU cho kết quả xác định sức kháng cắt thấp hơn so với thí nghiệm ngoài trời. Trong đó, ảnh hưởng của sự xáo động mẫu là đáng kể.
- Khi cùng so với thí nghiệm UU, kết quả DMT có sai số thấp hơn FVT và CPTu khi lựa chọn công thức phù hợp. Điều này cho thấy tiềm năng ứng dụng DMT trong xác định Su là khả thi và đáng tin cậy, đặc biệt trong điều kiện khó lấy mẫu nguyên trạng.
- So sánh DMT với các kết quả từ thí nghiệm UU, FVT và CPTu cho thấy: Các biểu thức của Marchetti (1980), Lutenegger (1988) cho độ lệch nhỏ và phù hợp với kết quả các thí nghiệm kiểm chứng (UU và FVT) cho đất dẻo chảy. Biểu thức của Roque (1990) phù hợp cho đất sét có độ sệt cao ( $I_s > 0,85$ ), nhưng cho sai số đáng kể với đất có độ sệt thấp hơn. Biểu thức của Kamei cho sai số lớn và không phù hợp với điều kiện đất yếu vùng nghiên cứu.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Phạm Văn Minh (2005). Nghiên cứu và đánh giá khả năng ứng dụng của phương pháp thí nghiệm nén ngang trong khảo sát địa chất công trình. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Mỏ - Địa chất
- [2] Vũ Công Ngữ, Nguyễn Thái (2003). Thí nghiệm hiện trường và ứng dụng trong phân tích nền móng, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3] Nguyễn Văn Phóng, Tạ Đức Thịnh (2008). Xác định các đặc trưng cơ học của đất yếu bằng thí nghiệm xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng CPTu. Tuyển tập báo cáo HNKH lần thứ 18, trường ĐH Mỏ - Địa chất năm 2008.
- [4] Nguyễn Văn Phóng, Tạ Đức Thịnh (2008). Xác định các đặc trưng cơ học của đất yếu bằng thí nghiệm xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng CPTu. Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 18, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.
- [5] Lê Trọng Thắng, Nguyễn Văn Phóng (2010). Xác định sức kháng cắt không thoát nước của đất yếu bằng các thí nghiệm hiện trường. Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 19, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.
- [6] Lê Trọng Thắng (2018). Đánh giá khả năng sử dụng thiết bị Dilatometer (DMT) để xác định các thông số đất nền và kết quả áp dụng tại khu công nghiệp Vũng Áng, Hà Tĩnh.
- [7] ASTM D6635-01: Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer
- [8] Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G., Calabrese, M., 2001. The flat dilatometer test (DMT) in soil investigations, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). University of L'Aquila, Italy
- [9] Totani, G., Marchetti, S., Monaco, P., Calabrese, M., 2001. Use of the flat dilatometer test (DMT) in geotechnical design. Preprint : IN SITU 2001, Intl. Conf. On In situ Measurement of Soil Properties, Bali, Indonesia, May 2001. University of L'Aquila, Faculty of Engineering, L'Aquila, Italy.